

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppiseaduste valdkond

Matemaatika ja statistika instituut

Annika Ilves

Ilmaprognoos ja tegelik ilm Tartu näitel

Matemaatilise statistika eriala

Bakalaureusetöö (9EAP)

Juhendaja: assistent Anne Selart

Tartu 2018

Ilmaprognoos ja tegelik ilm Tartu näitel

Bakalaureusetöö

Annika Ilves

Lühikokkuvõte. Bakalaureusetöö eesmärgiks on leida teistest usaldusväärsem ja täpsem ilmaportaali. Uuringusse valiti kaheksa populaarset ilmaportaali, mille prognoose Tartu kohta jälgiti viie kuu jooksul. Ilmaportalidest märgiti üles järgmise öö, järgmise päeva ja ülejäämise öö minimaalsed ja maksimaalsed temperatuurid ning kas järgmiseks päevaks ennustati sademeid või mitte. Võrreldes kogutud andmeid tegelike vaatlusandmetega, selgitatakse välja, millise ilmaportaali andmed vastasid kõige enam tegelikkusele. Analüüsi tegemiseks on kasutatud kahe tasemega lineaarset segamõjudega mudelit.

CERCS teaduseriala: P160 Statistika, operatsioonianalüüs, programmeerimine, finants- ja kindlustusmatemaatika

Märksõnad: ilmaprognoosid, R (programmeerimiskeel)

Weather forecast and actual weather in Tartu

Bachelor's thesis

Annika Ilves

Abstract. The aim of this bachelor's thesis is to find a weather channel which provides the most trustworthy and accurate weather forecast. Data about Tartu was collected from eight different weather channels within five months. The data set consists of the maximal and minimal temperatures of the next night, the next day and the following night and whether it predicted precipitation for the next day or not. The gathered data was compared to the actual observed data in order to find the most accurate weather channel. An analysis was conducted using two-level linear mixed effects model.

CERCS research specialization: P160 Statistics, operations research, programming, financial and actuarial mathematics

Keywords: weather forecasts, R (programming language)

Sisukord

Sissejuhatus	4
1 Andmete kogumine	5
2 Ülevaade ilmaportalidest	7
2.1 Riigi Ilmateenistus	7
2.2 Ilm.ee (NOAA)	7
2.3 Weather Underground	8
2.4 Yr	8
2.5 AccuWeather	9
2.6 Metcheck	9
2.7 Gismeteo	10
2.8 The Weather Channel	10
3 Andmestiku kirjeldus	11
3.1 Tegelik ilm andmete kogumise ajal Tartus	11
3.2 Järgneva öö temperatuuri prognoos Tartus	12
3.3 Järgneva päeva temperatuuri prognoos Tartus	12
3.4 Ülejärgmise öö temperatuuri prognoos Tartus	13
3.5 Järgneva ööpäeva sademete prognoos Tartus	14
4 Lineaarne segamõjudega mudel	16
4.1 Mudeli valik	16
4.2 Teoreetiline mudel	17
5 Tulemused	19
5.1 Järgneva öö ja päeva miinimumtemperatuurid Tartus	20
5.2 Järgneva öö ja päeva maksimumtemperatuurid Tartus	20
5.3 Ülejärgmise öö minimaalsed temperatuurid Tartus	21
5.4 Ülejärgmise öö maksimaalsed temperatuurid Tartus	22
5.5 Järeldused	22
Kokkuvõte	26
Kasutatud allikad	27
Lisad	28
Lisa 1	28
Lisa 2	29
Lisa 3	29
Lisa 4	31

Sissejuhatus

Ilm mõjutab suuremal või vähemal määral kõikide inimeste elu. Eriti suur mõju on ilmal näiteks neile, kes töötavad väljas, peavad palju jala liikuma või kellele meeldib väljas sportida.

Kuna kliima on Eestis muutlik ja tihti ettearvamatu, siis on suurel osal eestlastel kombeks enne kodust lahkumist end tuleva päeva ilmatega kurssi viia. Üleüldiselt on Eestis hilissügis ning varakevad periood, mil päeval tihti sajab ning koduaknast välja vaadates on väga keeruline ennustada, kui soe või külm väljas on. Nädalavahetuste plaanid sõltuvad samuti sageli ilmast. Kui ilmaprognoos ennustab külma ja vihma, siis tihti tehakse plaanid ümber või leitakse tubaseid tegevusi.

Arvatavasti on iga inimese tutvusringkonnas võimalik nimetada vähemalt kolm erinevat ilmaportaali, mille prognoose jälgitakse. Tihti ei lange aga prognoositud ilm teiste ilmaportaali prognooside ning tegeliku ilmaga kokku. Milliste ilmaportaali ennustusi oleks mõistlik kõige rohkem uskuda?

Käesolevas töös on jälgitud viie kuu jooksul kaheksa ilmaportaali prognoose sademete esinemise ja õhutemperatuuride kohta. Töö eesmärgiks on leida, milline neist on täpseim ja usaldusväärseim. Ilmaportaalist vaadeldi ilma nii Viljandi kui Tartu kohta, kuid töö põhirõhk on Tartu ilmaandmete analüüsimisel.

1 Andmete kogumine

Käesolevas töös on jälgitud kaheksa ilmaportaali prognoose viie kuu jooksul. Andmed on saadud järgmistest ilmajaamadest: Riigi Ilmateenistus, ilm.ee, Weather Underground, Yr, AccuWeather, Metcheck, Gismeteo ja The Weather Channel.

Loetletud ilmaennustusportaalidest on Eesti omad Riigi Ilmateenistus ning ilm.ee, millest esimene on ainus Eesti ametlik ilmateenistus. Ilmajaamade hulka on valitud ka Norra ilmateenistus Yr ning Venemaa ilmateenistus Gismeteo, mis on eestlaste seas populaarseteks ilmaportaalideks detailirohke ning väidetavalt paikapidava prognoosi pärast. Apple'i arendatava mobiilsete seadmete operatsioonisüsteemi iOS ametlik ilmaennustuse mobiilirakendus on Weather. Rakendus väljastab andmeid The Weather Channeli ilmaportaalist, mistõttu on portaal ilma jälgimiseks laialdaselt kasutatav nii Eestis kui mujal maailmas. Lisaks juba väljatoodud ilmaportaalidele, on käesolevasse töösse valitud kaks populaarset Ameerika Ühendriikide ilmateenistust: Weather Underground ja AccuWeather ning üks Ühendkuningriigi ilmaportaal Metcheck.

Tunnused, mida töös uuritakse on järgmised: järgneva öö ning päeva temperatuur ja sademete esinemine ning ülejäärmise öö temperatuur. Temperatuuride korral on üles märgitud nii minimaalne kui maksimaalne temperatuur. Töös loetakse päeva osaks ajavahemikku 6.00 - 21.00 ning ööks 22.00 - 5.00. Kõikidest vaadeldud ilmaportaalidest on andmed üles märgitud nende ajavahemike alusel.

Andmeid koguti ajavahemikul 1. november 2017 kuni 30. märts 2018 Tartu ja Viljandi ilma kohta. Andmete kogumine toimus iga päev ning andmeid märgiti üles enamasti enne keskpäeva. Seega andmestik on kokku 150 kirjet. Andmed koguti käsitsi, see tähendab, et iga päev vaadeldi ilmaennustusi eelpool loetletud veebilehtedelt. Andmeid koguti alati ühes ja samas järjekorras ning üles märgiti aeg, mil Riigi Ilmateenistuse lehelt ilmaennustuse vaatlemist alustati. Saadud andmed märgiti üles MS Exceli tabelitesse. Kahest ilmaportaalist, Gismeteost ja The Weather Channelist alustati andmete kogumist 15. novembrist, mistõttu on nende ilmaportaalide kohta andmeridu 136.

Andmete kogumisel ei esinenud töö autoril suuremaid probleeme. Viie kuu jooksul vaid mõnel üksikul korral oli andmete kogumise hetkel mõne ilmaennustusportali internetilehekülg maas või andmete laadimine lehel võttis kauem aega kui tavaliselt. Puuduolevad andmed õnnestus enamasti saada vähem kui ühe tunni möödudes. Ühel korral

siiski jäi Metchecki leheküljelt järgmise päeva temperatuuri ning sademete esinemise kohta andmed võtmata, sest terve päeva jooksul oli ilmaportaali vastavates lahtrites kirjas, et andmed ei ole ajutiselt kättesaadavad. Lisaks tuli Metchecki internetileheküljel paaril korral ette olukordi, kus paaritunnise ajaperioodi jooksul oli sademete hulk ühes tunnis 44,5 mm ning temperatuur samal ajal -42°C , mis Eesti mastaabis viitab vigastele andmetele.

Lisaks kõigele eelnevale märgiti Riigi Ilmateenistuse veebilehelt üles vaatlusandmed tegelike miinimum- ning maksimumtemperatuuride ning sademete esinemise kohta. Ka need andmed märgiti üles töös määratletud ajavahemike järgi. Töös võrreldaksegi saadud tegelikke andmeid viie kuu jooksul kaheksast ilmaportaalist kogutud andmetega.

2 Ülevaade ilmaportalidest

Järgnevas peatükis on toodud välja täpsem ülevaade kõikide töös kasutatud ilmaportalide kohta. Ülevaated põhinevad portalide veebilehtedel oleval informatsioonil.

2.1 Riigi Ilmateenistus

Riigi Ilmateenistus, mis töötab Keskkonnaagentuuri koosseisus, loodi 1. juunil 2013, mil ühendati Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) ning Keskkonnateabe Keskuse (KTK) töö. Riigi Ilmateenistuse veebilehelt on võimalik leida nii ilmaprognoos kui ka ametlikud ilmaandmed minevikust. Riigi Ilmateenistuse andmed põhinevad 107 automatiseeritud jaama vaatlustel.

Veebilehelt leitav ilmaprognoos Eesti ala ning territoriaalvete kohta on kuni viie päeva kohta. Lisaks sellele on võimalik lugeda nädala- ning kuuprognoosi, vaadata sademete tõenäosust ning tutvuda ametlike hoiatustega. Riigi Ilmateenistuse lehel on ka mudelprognoos nii Eesti kui ka Euroopa ilma kohta. Mudel avaldub animatsioonina, millelt on võimalik leida infot õhutemperatuuri, tuule, sademete, pilvisuse, õhurõhu ning õhuniiskuse kohta. Küll aga on toonitatud, et kuigi Ilmateenistuse ametlik prognoos koostatakse mudelite põhjal, ei tohiks mudelite väljundit interpreteerida kui Riigi Ilmateenistuse ametlikku ilmaennustust. Käesolevas töös on vaadeldud Riigi Ilmateenistuse lehelt asukohapõhist prognoosi, mis on arvutatud HIRLAMi mudeli poolt. HIRLAM on mitmete Euroopa riikide ühine teadus-arendusprojekt, mille üheks eesmärgiks on ilmaennustustarkvara loomine.

Töös kasutatavate andmete kogumisel on kasutatud asukohapõhist prognoosi, et ilmaandmed oleksid saadavad tunnipõhiselt. Ametlik prognoos võimaldab vaadata vaid kogu öise või päevase perioodi temperatuuri, sademeid ning tuulekiirust ja -suunda. [1]

2.2 Ilm.ee (NOAA)

Ilm.ee on Eesti ilmaportal, mis sisaldab peamiselt informatsiooni Eesti ilmaandmete ning prognooside kohta. Andmed põhinevad Riigi Ilmateenistuse andmetel ning USA Riikliku Ookeani ja Atmosfääri Administratsiooni (NOAA) mudelitel. Lisaks Eesti ilmaprognoosidele

leiab ilmaportaalist informatsiooni ka välisriikide suuremate linnade õhutemperatuuride kohta.

Ilmaportaali andmed Eesti ilma kohta on leitavad interaktiivselt kaardilt. Kaardilt on võimalik vaadata ilmaprognoosi 7 ööpäeva kohta 3-tunniste vahedega. Ühel kaardil on info temperatuuri, pilvede ja sademete ning teisel tuule kohta. Viimase suurimaks miinuseks on asukohapõhise tuule suuna prognoosi puudumine, võimalik on vaadata vaid tuule tugevust. Järgnevas päevaks prognoositavat tuule suunda on võimalik ilm.ee veebilehelt teada saada vaid üldisest ilmateatest, mis kehtib kogu Eesti kohta. Sellegipoolest on ilmaportaalis võimalus vaadata asukohapõhist prognoosi terve nädala öö ja päeva temperatuuride, sademete esinemise ning päiksetõusu ja -loojangu kohta. See informatsioon on saadaval Eesti linnade ja populaarsete asukohade kohta. [2]

2.3 Weather Underground

Weather Underground on Ameerika ilmavaatluste lehekülg, mis on ilma prognoosimisega tegelenud juba aastast 1993. Weather Underground oli esimene veebilehekülg Internetis, kust sai ilmateadet lugeda. Informatsiooni kogutakse enam kui 250 000 ilmavaatluspunktist Ameerikas ning ligikaudu 29 000 ilmajaamast mujal maailmas. Weather Undergroundi eesmärgiks on kvaliteetse ilmaprognoosi kättesaadavus iga inimese jaoks. Ilmaprognoosi on võimalik vaadata kümne ööpäeva kohta, seejuures on prognoos detailne: iga tunni kohta on näha õhutemperatuur, sademete hulk, sademete esinemise tõenäosus, tuule suund ning tuule tugevus. Peale selle saab Weather Undergroundi ilmaportaalist lugeda nii üldist kokkuvõtlikku ilmateadet järgneva kahe päeva kohta kui ka vaadata igatunniseid ilmaandmeid. [3]

2.4 Yr

Yr on Norra ilmaportaal, mis on loodud koostöös Norra Meteoroloogia Instituudi (met.no) ning Norra Ringhäälinguga (NRK). Yr loodi aastal 2007 ning on populaarne ilmaportaal nii Norras kui ka mujal maailmas oma väga detailse prognoosi tõttu. Ingliskeelset ilmateadet on võimalik lugeda ligikaudu miljoni koha kohta Norras ning üheksa miljoni koha kohta üle kogu maailma. [4]

Prognoosid põhinevad Norra Meteoroloogia Instituudi ja rahvusvaheliste instituutide Euroopa Keskulatusega Ilmaennustuste Keskuse (ECMWF) ning Euroopa Meteoroloogiasatelliitide Kasutamise Organisatsiooni (EUMETSAT) andmetel. Yr ilmaportaalist leiab asukohapõhise prognoosi iga tunni kohta või pikaajalise prognoosi 9 ööpäeva kohta. Pikaajalise ilmaennustuse korral on kõiki andmed, milleks on õhutemperatuur, sademed ning tuulekiirus ja -suund, võimalik vaadata iga kuue tunni kohta. Detailne prognoos, kus on informatsioon iga tunni kohta, on saadaval kahe järgneva ööpäeva kohta. [5]

2.5 AccuWeather

AccuWeather on Ameerika ettevõtte, mis oma kodulehel tutvustab ennast järgmiselt: AccuWeatheri eesmärgiks on päästa elusid, kaitsta vara ja aidata inimestel olla edukad, samal ajal laiendades firmat hea ja tulutoova ärina. AccuWeatheri visiooniks on olla maailma parim ja kõige kasutatum ilmaportaal. Väidetavalt on võimalik AccuWeatherist vaadata ilmateadet maailma iga piirkonna kohta.

Nelja ööpäeva ilma kohta on saadaval igatunnised andmed õhutemperatuuri, tuule ning sademete kohta. Lisaks sellele on AccuWeatheris võimalik vaadata pikka prognoosi, mis on välja arvutatud 90 päeva kohta. Selle prognoosiga saab teada miinimum- ning maksimumtemperatuuri ööpäeva jooksul ning arvatava sademete hulga. [6]

2.6 Metcheck

Metcheck on ilmaportaal, mille andmed pärinevad erinevatest allikatest, alustades Metchecki enda ilmajaamadega ning lõpetades globaalsete ilmamudelitega, mille andmeid töödeldakse ning seejärel ainulaadsel ning kasutajasõbralikul viisil esitatakse.

Metcheckis on igatunnist detailset ilmaprognoosi võimalik vaadata viie järgneva ööpäeva kohta. Prognoosis on välja toodud õhutemperatuur, sademete hulk, sademete esinemise tõenäosus, tuule suund ja tuule kiirus. Pikim Metcheckist leitav prognoos on järgmise 180 päeva kohta. See prognoos ennustab iga päeva kohta miinimum- ning maksimumtemperatuuri, sademete hulga, pilvisuse tõenäosuse, tuule suuna ning tuule kiiruse.

Teistest ilmajaamadest eristab Metchecki see, et õhutemperatuuri ning sademete andmed kuvatakse värvigamma abil, mistõttu on võimalik saada väga kiire ülevaade temperatuuri muutumisest ja sademete hulgast. Andmed vihma ning lume kohta on esitatud vastavalt sinises ja roosas värvigammas, kus tumedamad toonid näitavad suuremat sademete hulka kui heledamad. Õhutemperatuur on näha sinise, rohelise, kollase ning punase toonides, kus sinise värvuse gamma näitab miinuskraade ning ülejäänud värvused järjest kõrgemate temperatuuride väärtusi. [7]

2.7 Gismeteo

Gismeteo on Venemaa Hüdrometeoroloogia Keskuse ning teiste sarnaste organisatsioonide koostöös aastal 1998 valminud ilmaportaal. Pärast seda, kui rahvusvahelised veebilehed Ukrainas, Leedus ning Valgevenes osutasid edukateks, otsustati ilmateateid väljastada kogu Euroopa kohta. Tänapäevaks on ilmaandmeid võimalik saada üle 14 000 koha kohta üle kogu maailma.

Gismeteo detailne prognoos on nähtav kahe järgneva ööpäeva kohta. Õhutemperatuur, sademete esinemine, õhurõhk, tuule suund, tuule kiirus ning niiskus protsentides on välja toodud iga kolme tunni tagant. Kahe nädala prognoosis on sama informatsioon olemas öö, hommiku, päeva ning õhtu kohta. Lisaks on võimalik vaadata ka ühe kuu ilmaprognoosi, millelt on näha öö ning päeva temperatuur ja informatsioon sademete esinemise kohta. [8]

2.8 The Weather Channel

The Weather Channel on ilmaportaal, mille andmetega puutuvad kokku kõik Apple'i telefonide kasutajad, kes jälgivad ilma mobiilirakendusest Weather. The Weather Channel'i andmed põhinevad erinevatel ilmateadetel, mille kohta kogutakse informatsiooni Rahvuslikust Ilmateenistusest, NASAst, satelliitidelt ning muudest allikatest. [9]

Mobiilirakenduses on võimalik vaadata järgneva 24 tunni kohta iga tunni õhutemperatuuri ning sademete esinemist. Pikem prognoos on kümne ööpäeva kohta, kust on võimalik teada saada sademete esinemine ning õhutemperatuur nii päeva kui öö jaoks. [10]

3 Andmestiku kirjeldus

Järgnevas peatükis on lühike ülevaade töös uuritud Tartu ilmaandmete kohta. Eraldi vaadeldakse tegeliku ilma ja järgmise öö, järgmise päeva ning ülejärgmise öö õhutemperatuuride prognooside karakteristikuid ning sademete esinemist järgmisel ööpäeval. Öö ajaks loetakse käesolevas töös ajavahemikku 22.00 - 5.00 ning päeva ajaks 6.00 - 21.00.

3.1 Tegelik ilm andmete kogumise ajal Tartus

Andmed tegeliku Tartu ilma kohta on saadud Riigi Ilmateenistuse veebilehelt, millelt on üles märgitud 2. novembri kuni 1. aprilli vaatlusandmed minimaalse ja maksimaalse õhutemperatuuri ja sademete esinemise kohta.

Tabel 1. Tegeliku ilma miinimumid ja maksimumid Tartus

	Öö		Päev	
	min	max	min	max
min	-22,0	-18,2	-22,6	-14,9
max	7,4	7,7	5,4	8,8

Tabelis 1 on näha, et öö minimaalsetest temperatuuridest madalaim oli $-22,0^{\circ}\text{C}$ ning kõrgeim $7,4^{\circ}\text{C}$. Öö maksimaalsetest temperatuuridest madalaim oli $-18,2^{\circ}\text{C}$ ning kõrgeim $7,7^{\circ}\text{C}$. Päeva minimaalsetest temperatuuridest madalaim oli $-22,6^{\circ}\text{C}$ ning kõrgeim $5,4^{\circ}\text{C}$. Kõigi 151 vaadeldud päeva jooksul maksimaalsetest saavutatud temperatuuridest madalaim oli $-14,9^{\circ}\text{C}$ ning kõrgeim $8,8^{\circ}\text{C}$. Vaadeldud viie kuu jooksul mõõdeti kõige madalam temperatuur $-22,6^{\circ}\text{C}$ 28. veebruaril 2018 ning kõige kõrgem temperatuur $8,8^{\circ}\text{C}$ oli 5. novembril 2017.

Riigi Ilmateenistuse vaatlusandmete põhjal esines sademeid ajavahemikus 2. november kuni 31. märts 95 ööpäeval ehk 63,3% vaadeldud päevadest.

3.2 Järgneva öö temperatuuri prognoos Tartus

Tabelis 2 on toodud välja vaatluspäevale järgneva öö minimaalsed ning maksimaalsed prognoositud õhutemperatuurid Tartus. Öö minimaalsetest temperatuuridest madalaima ning kõrgeima prognoosis Riigi Ilmateenistus. Madalaimaks prognoositi -27°C ning kõrgeimaks miinimumtemperatuuriks 6°C . Järgneva öö maksimaalsetest temperatuuridest madalaima, -22°C , prognoosis Riigi Ilmateenistus ning kõrgeima temperatuuri, 8°C , prognoosis Norra ilmateenistus Yr. Järgneva öö minimaalne temperatuur -27°C prognoositi 23. veebruariks, prognoositud maksimaalne temperatuur 8°C aga 5. novembriks, mil mõõdeti ka tegelik öö maksimumtemperatuur.

Tabel 2. Järgneva öö miinimumid ja maksimumid Tartus

	1. öö			
	min	ilmajaam	max	ilmajaam
min	-27	Riigi Ilmateenistus	-22	Riigi Ilmateenistus
max	6	Riigi Ilmateenistus	8	Yr

3.3 Järgneva päeva temperatuuri prognoos Tartus

Tabelis 3 on näha, et järgneva päeva minimaalse temperatuuri madalaima prognoosi tegi Riigi Ilmateenistus ning kõrgeima ilmaportaali ilm.ee. Päeva minimaalsete temperatuuride madalaim ja kõrgeim olid vastavalt -27°C ja 6°C . Järgneva päeva maksimumtemperatuuride madalaim oli ilmaportaali Gismeteo prognoositud -17°C ning kõrgeim Riigi Ilmateenistuse prognoositud 9°C .

Tabel 3. Järgneva päeva miinimumid ja maksimumid Tartus

	1. päev			
	min	ilmajaam	max	ilmajaam
min	-27	Riigi Ilmateenistus	-17	Gismeteo
max	6	ilm.ee	9	Riigi Ilmateenistus

Järgneva päeva madalaim temperatuur, $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, prognoositi 23. veebruariks ning kõrgeim, $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 6. novembriks.

3.4 Ülejärgmise öö temperatuuri prognoos Tartus

Tabelis 4 on toodud välja miinimum- ja maksimumtemperatuurid ülejärgmise öö kohta Tartus. Riigi Ilmateenistus, AccuWeather ning The Weather Channel prognoosisid ülejärgmise öö minimaalsete temperatuuride madalaimaks $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ilmaportalid Yr, Weather Underground, Riigi Ilmateenistus, AccuWeather ning ilm.ee prognoosisid kõrgeimaks minimaalseks temperatuuriks $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ülejärgmise öö maksimaalsete temperatuuride madalaima, $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, prognoosis The Weather Channel ning Riigi Ilmateenistus prognoosis kõrgeima, milleks oli $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabel 4. Ülejärgmise öö miinimumid ja maksimumid Tartus

	2. öö			
	min	ilmajaam	max	ilmajaam
min	-23	Riigi Ilmateenistus, AccuWeather, The Weather Channel	-23	The Weather Channel
max	5	Yr, Weather Underground, Riigi Ilmateenistus, AccuWeather, ilm.ee	8	Riigi Ilmateenistus

Ülejärgmise öö miinimumtemperatuuri, $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, prognoositi nii 24. veebruariks kui ka 28. veebruariks. Maksimaalset temperatuuri, $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, prognoositi 7. novembriks. The Weather Channeli mobiilirakenduses väljastatakse ülejärgmise öö kohta vaid üks temperatuur, seepärast langebki antud juhul tabelis 4 minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride madalaim kokku.

3.5 Järgneva ööpäeva sademete prognoos Tartus

Andmete kogumisel ajavahemikus 1. november 2017 kuni 30. märts 2018 märgiti üles, kas ilmaportaali ennustavad järgmiseks ööpäevaks sademeid või ei. Riigi Ilmateenistuse lehel on üles märgitud tegelikud vaatlusandmed sademete esinemise kohta Tartus. Võrdlustulemused ilmaportalide ning tegelikkuse vastavusele on välja toodud tabelis 5.

Tabel 5. Sademete ennustuse täpsus Tartus

ilmaportaal	õigesti ennustatud päevade arv	eksitud päevade arv	puuduvate andmete arv	täpsus
Riigi Ilmateenistus	97	53	-	0,647
ilm.ee	99	51	-	0,66
Weather Underground	98	52	-	0,653
Yr	101	49	-	0,673
AccuWeather	102	48	-	0,68
Metcheck	103	46	1	0,691
Gismeteo	100	36	14	0,735
The Weather Channel	85	51	14	0,625

Tabelis 5 on näha, et kõige täpsemalt on sademete esinemist või mitte esinemist järgnevas ööpäevaks prognoosinud ilmaportaal Gismeteo. Täpsus oli 0,735 ehk 73,5% Gismeteo ennustustest vastas tegelikkusele. Kõige vähem täpsem oli The Weather Channeli ennustused järgneva ööpäeva sademete esinemise kohta. Ennustustest vastas tegelikkusele 62,5%.

Järgmises tabelis 6 on toodud välja ilmaportalide ennustuste täpsused eraldi sademeteta ning sademetega päevade kohta. Riigi Ilmateenistuse vaatlusandmete järgi olid Tartus 55 päeva kuivad ning lund või vihma sadas 95 päeval.

Tabel 6. Ennustuste täpsused sademetega ja sademeteta päevade kohta Tartus

ilmaportaali	õigesti ennustatud sademeteta päevade arv	täpsus	õigesti ennustatud sademetega päevade arv	täpsus
Riigi Ilmateenistus	34	0,618	63	0,663
ilm.ee	31	0,564	68	0,716
Weather Underground	41	0,745	57	0,6
Yr	43	0,782	58	0,611
AccuWeather	35	0,636	67	0,705
Metcheck	28	0,509	75 (puuduvaid väärtusi 1)	0,798
Gismeteo	20 (puuduvaid väärtusi 3)	0,385	80 (puuduvaid väärtusi 11)	0,952
The Weather Channel	41 (puuduvaid väärtusi 3)	0,788	44 (puuduvaid väärtusi 11)	0,524

Seda, et järgmisel päeval sademeid ei esine, prognoosis kõige täpsemini The Weather Channel, mille ennustused sajuta päevade kohta pidasid paika 78,8% juhtudest. Sademetega päevi ennustas Gismeteo 95,2% täpsusega. See tähendab, et Venemaa ilmaportaali prognoosis õigesti 80 vihma- või lumesajupäeva 84 päevast, mil vaatlusandmete järgi sadas.

4 Lineaarne segamõjudega mudel

4.1 Mudeli valik

Lineaarse segamõjudega mudeli abil on võimalik analüüsida grupeeritud ja korreleeritud andmeid. Segamõjudega mudelis on nii fikseeritud kui ka juhuslikud mõjud. Kui parameetrid seostatakse kogu üldkogumi või kindlate korduvate faktorite tasemetega, siis on tegu fikseeritud mõjudega. Juhuslikud mõjud seostatakse üldkogumist juhuslikult valitud katseühikutega. [11]

Lineaarse segamõjudega mudeli üldkuju:

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{X}_i\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}_i\mathbf{b}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

kus $\boldsymbol{\beta}$ on fikseeritud mõjude vektor, \mathbf{b}_i on juhuslike mõjude vektor, \mathbf{X}_i ja \mathbf{Z}_i on vastavalt fikseeritud ja juhuslike mõjude disainimaatriksid ning $\boldsymbol{\varepsilon}_i$ on mudeli jääkide vektor. N näitab uuritavate gruppide arvu andmestikus ning vektor \mathbf{y}_i on i -nda grupi sõltuva tunnuse väärtuste vektor. [12]

Lineaarset segamõjudega mudelit saab kasutada analüüsides, milles on tegu sõltuvate andmetega. Sellised andmed saadakse näiteks kestusuuringutest, kus igale vaadeldavale objektile tehakse mitmeid mõõtmisi. [11]

Uuritava tunnuse jaotab klassideks faktortunnus, mille erinevaid väärtusi nimetatakse tasemeteks. Mudel on hierarhilise struktuuriga, kui ühe faktori kõik tasemed on kombineeritud ainult ühe kindla teise faktori tasemega ehk ühe faktori tasemed alluvad teisele faktorile. Kui juhuslikud mõjud on hierarhilised, kasutatakse analüüsi tegemisel mitmetasemelist mudelit. [13] Antud töös kirjeldavad uuritavat tunnust kaks juhuslikku mõju, seega antakse järgnevalt ülevaade kahetasemelisest lineaarsest segamõjudega mudelist.

4.2 Teoreetiline mudel

Üldkujust (1) saab edasi arendada kahe tasemega lineaarse segamõjudega mudeli järgmiselt:

$$\mathbf{y}_{ij} = \mathbf{X}_{ij}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}_{1,ij}\mathbf{b}_i + \mathbf{Z}_{2,ij}\mathbf{b}_{ij} + \boldsymbol{\varepsilon}_{ij}, \quad (2)$$

kus $i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n_i$. Mudelis (2) on $\boldsymbol{\beta}: p \times 1$ fikseeritud mõjude vektor, $\mathbf{b}_i: q_1 \times 1$ esimese taseme ja $\mathbf{b}_{ij}: q_2 \times 1$ teise taseme juhuslike mõjude vektor ning $\mathbf{X}_{ij}: n_{ij} \times p$ on fikseeritud mõjude disainimaatriks. Maatriksid $\mathbf{Z}_{1,ij}: n_{ij} \times q_1$ ja $\mathbf{Z}_{2,ij}: n_{ij} \times q_2$ on vastavalt esimese ja teise taseme juhuslike mõjude disainimaatriksid ning $\boldsymbol{\varepsilon}_{ij}: n_{ij} \times 1$ on grupisisestest juhuslikest vigadest vektor, mis on konstantse hajuvusega, sõltumatu erinevate i ja j korral ning sõltumatu juhuslike mõjude vektoritest \mathbf{b}_i ja \mathbf{b}_{ij} . Disainimaatriksid $\mathbf{Z}_{1,ij}$ ja $\mathbf{Z}_{2,ij}$ võivad, aga ei pea olema identsed.

Toodud mudeli (2) kohta eeldame, et kui juhuslike mõjude parameetervektorid \mathbf{b}_i , \mathbf{b}_{ij} ja juhuslike vigade ehk mudeli jääkide vektor $\boldsymbol{\varepsilon}_{ij}$ on omavahel sõltumatud, siis on kahe tasemega lineaarses segamõjudega mudelis (2) \mathbf{b}_i , \mathbf{b}_{ij} ja $\boldsymbol{\varepsilon}_{ij}$ normaaljaotusega

$$\mathbf{b}_i \sim N(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Psi}_1), \quad \mathbf{b}_{ij} \sim N(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Psi}_2), \quad \boldsymbol{\varepsilon}_{ij} \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}),$$

kus $\boldsymbol{\Psi}_1$ ja $\boldsymbol{\Psi}_2$ on dispersioonide-kovariatsioonide maatriksid, mis on sümmeetrilised ja positiivselt määratud. [11] [12]

Kahe tasemega lineaarse segamõjudega mudeli (2) maatriksid antud töös on järgneval kujul:

$$\mathbf{y}_{ij} = \begin{pmatrix} y_{ij1} \\ y_{ij2} \\ \vdots \\ y_{ij8} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{X}_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_8 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Z}_{1,ij} = \mathbf{Z}_{2,ij} = \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \text{ ja}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{ij} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{ij1} \\ \vdots \\ \varepsilon_{ij8} \end{pmatrix},$$

kus \mathbf{y}_{ij} on uuritava tunnuse väärtuste vektor, maatriks \mathbf{X}_{ij} on ühikmaatriks mõõtmatega 8×8 ja disainimaatriksid $\mathbf{Z}_{1,ij}$ ja $\mathbf{Z}_{2,ij}$ on 8-elementilised ühtedest koosnevad vektorid. Parameetrid \mathbf{b}_i ja \mathbf{b}_{ij} on ühemõõtmelised juhuslikud suurused normaalsest, $\mathbf{b}_i \sim N(0, \sigma_{b_i}^2)$ ja $\mathbf{b}_{ij} \sim N(0, \sigma_{b_{ij}}^2)$.

Antud töös on uuritavaks tunnuseks prognoosi ja tegeliku temperatuuri erinevus, fikseeritud mõjuks ilmaportaal ning juhuslikeks mõjudeks kuupäev ja öö- või päevaaeg ühes kuupäevas. Kuna kaheksast ilmaportaalist tehti vaatlusi 150 päeva kohta, siis $i = 1, \dots, 150, j = 1, 2$ ja $k = 1, \dots, 8$, kus i näitab vaatluse kuupäeva, j näitab, kas tegu on öö või päevaga ning k näitab, millise ilmaportaali prognoosiga on tegu.

Kahe tasemega lineaarse segamõjudega mudeli (2) abil saab arvestada sellega, et konkreetset kuupäeval ja päeva poolel tehtud mõõtmised on omavahel sõltuvad.

5 Tulemused

Töö käigus otsustati esitada tulemused miinimum- ja maksimumtemperatuuride kohta eraldi, et vältida juhte, kus ilmaportaali prognooside erinevused tegelikest temperatuuridest üksteist ära nullivad. Tulemuste saamiseks on kasutatud kahe tasemega lineaarset segamõjudega mudelit, kus uuritavaks tunnuseks on tegelike ja prognoositud temperatuuride vahe ja fikseeritud mõjuks on ilmaportaal, millest prognoos saadi. Juhuslikeks mõjudeks on mudelis kuupäev, mille prognoosi vaadati, ja aeg kuupäevas ehk kas tegemist oli öö- või päevaperioodiga. Tulemuste saamiseks on kasutatud rakendustarkvara R'i.

Leitud on kõigi kaheksa töös vaadeldud ilmaportaali prognooside erinevused tegelikest mõõdetud temperatuuridest, mis on saadud Riigi Ilmateenistuse vaatlusandmetest.

$$\text{vahe}_{ijk} = \text{tegelik}_{ij} - \text{prognoos}_{ijk}, \text{ kus } i = 1, \dots, 150, j = 1, 2, k = 1, \dots, 8,$$

kus i on päevade arv, mil ilmaportaalist prognoose vaadeldi, j näitab, kas tegemist on öö või päevaga ning k näitab, millise ilmaportaali prognoosiga on tegu. Prognoosid on kogutud ajavahemikus 1. november 2017 kuni 30. märts 2018, seega saab tulemused üldistada vaid selle ajavahemiku kohta.

Minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride kohta tehakse erinevad mudelid, seega on esialgsed kogutud andmed jagatud eraldi andmestikesse. Temperatuuride ja sademete andmestike näidised on toodud välja lisas 1 ning lisas 2 on olemas R'i kood, mida kasutati mudeli hindamiseks.

Hüpoteeside paar, mille abil tehakse kindlaks teistest täpsemad ilmaportaali, on järgmine:

$$H_0 : \overline{\text{vahe}_{ij}} = 0$$

$$H_1 : \overline{\text{vahe}_{ij}} \neq 0,$$

kus $\overline{\text{vahe}_{ij}}$ on k -nda ilmaportaali keskmine erinevus tegelike mõõdetud temperatuuride ja prognooside vahel.

Olulisusnivooks on valitud $\alpha = 0,05$. See tähendab, et kui mudelis väljastatud p -väärtus ilmaportaali on väiksem kui 0,05, siis võetakse vastu alternatiivne hüpotees, mis tähendab, et vastava ilmaportaali tegelike ja prognoositud väärtuste vahe erineb kindlasti nullist. Antud

juhul tahetakse, et tegelike ja prognoositud väärtuste vahe oleks võrdne nulliga – see tähendaks, et ilmaportaali prognoosid vastavad tegelikkusele. Nullhüpoteesi juurde jäämine näitab antud juhul, et temperatuuride vahesid ei ole võimalik nullist erinevaks lugeda.

Analüüsitulemused selles peatükis on esitatud Tartu ilma kohta. Analoogselt läbi viidud analüüs Viljandi ilmaandmete kohta on esitatud lisas 3.

5.1 Järgneva öö ja päeva miinimumtemperatuurid Tartus

Tulemused järgneva öö ja päeva minimaalsete temperatuuride vahedest on allolevas tabelis 7. Väärtuste veerus on kirjas fikseeritud mõju hinnangud mudelist.

Tabel 7. Järgneva öö ja päeva minimaalsed temperatuurid Tartus

Ilmaportaal	väärtus	p-väärtus
Riigi Ilmateenistus	0,1500	0,2641
ilm.ee	-1,0767	< 0,0001
Weather Underground	-0,2600	0,0530
Yr	0,0067	0,9604
AccuWeather	0,9367	< 0,0001
Metcheck	1,0779	< 0,0001
Gismeteo	0,0265	0,8457
The Weather Channel	-0,3374	0,0134

Prognooside ja tegelike temperatuuride erinevust ei saa nullist erinevaks lugeda ilmaportaalide Riigi Ilmateenistus, Weather Underground, Yr ning Gismeteo korral. Kõige täpsemini prognoosis minimaalseid temperatuure Norra ilmateenistus Yr, mille parameetri väärtus mudelis on 0,0067. See tähendab, et kui arvestada vaid ilmaportaali mõju, siis keskmiselt olid tegelikud temperatuurid 0,0067 °C võrra kõrgemad kui Yri prognoosid. Kuupäevade vaheline temperatuuride erinevuste varieeruvus oli mudelis 1,35 °C ning öö ja päeva vaheline muutlikkus 0,63 °C. Mudeli juhuslikuks veaks oli 1,17 °C.

5.2 Järgneva öö ja päeva maksimumtemperatuurid Tartus

Järgnevas tabelis 8 on tulemused järgmise öö ja päeva maksimaalsete temperatuuride vahede kohta. Vahedeks on maksimaalsete prognoositud temperatuuride erinevused tegelikest mõõdetud andmetest.

Tabel 8. Järgneva öö ja päeva maksimaalsed temperatuurid Tartus

Ilmaportaal	väärtus	p-väärtus
Riigi Ilmateenistus	0,1500	0,0829
ilm.ee	0,6133	< 0,0001
Weather Underground	0,2167	0,0123
Yr	0,0167	0,8472
AccuWeather	0,5433	< 0,0001
Metcheck	1,5807	< 0,0001
Gismeteo	0,5452	< 0,0001
The Weather Channel	0,1665	0,0596

Maksimaalseid temperatuure ennustasid teistest täpsemini Riigi Ilmateenistus, Yr ja The Weather Channel. Kõige täpsemaks ilmaportaaliks oli Yr, mis ennustas maksimaalse temperatuuri keskmiselt 0,0167 °C võrra madalamaks tegelikust temperatuurist. Varieeruvus kuupäevades oli 0,61 °C ja öö ja päeva vahel 0,81 °C. Mudeli juhuslikuks veaks oli 0,92 °C.

5.3 Ülejärgmise öö minimaalsed temperatuurid Tartus

Järgnevas tabelis on välja toodud mudeli parameetrite väärtused ülejärgmise öö minimaalsete temperatuuride vahede kohta.

Tabel 9. Ülejärgmise öö minimaalsed temperatuurid Tartus

Ilmaportaal	väärtus	p-väärtus
Riigi Ilmateenistus	-0,0673	0,6724
ilm.ee	-0,1340	0,4001
Weather Underground	-0,2273	0,1535
Yr	0,1727	0,2783
AccuWeather	1,0860	< 0,0001
Metcheck	1,0860	< 0,0001
Gismeteo	0,4256	0,0090
The Weather Channel	0,8374	< 0,0001

Tabelis 9 on näha, et teistest täpsemini ennustasid ülejärgmise öö minimaalset temperatuuri Riigi Ilmateenistus, ilm.ee, Weather Underground ja Yr. Neist kõige täpsemad olid Riigi Ilmateenistuse prognoosid, kus portaali prognoosid tegelikkusest erinesid keskmiselt -0,0673 °C. See tähendab, et rohkem prognoositi tegelikkusest kõrgemaid temperatuure. Varieeruvus kuupäevade vahel oli ülejärgmise öö minimaalsete temperatuuride korral 1,09 °C ja juhuslik viga 1,20 °C.

5.4 Ülejärgmise öö maksimaalsed temperatuurid Tartus

Tulemused ülejärgmise öö maksimaalsete temperatuuride vahede kohta on allolevas tabelis 10.

Tabel 10. Ülejärgmise öö maksimaalsed temperatuurid Tartus

Ilmaportaali	väärtus	p-väärtus
Riigi Ilmateenistus	−0,0253	0,8527
ilm.ee	0,9747	< 0,0001
Weather Underground	0,2480	0,0694
Yr	0,1880	0,1685
AccuWeather	1,0680	< 0,0001
Metcheck	1,5480	< 0,0001
Gismeteo	0,7468	< 0,0001
The Weather Channel	2,5703	< 0,0001

Kõige täpsemini ennustas ülejärgmise öö maksimaalset temperatuuri Riigi Ilmateenistus, kus ilmaportaali prognoosid erinesid tegelikkusest keskmiselt −0,0253 °C võrra ehk maksimaalseid temperatuure ennustati rohkem tegelikest kõrgemaks. Lisaks Riigi Ilmateenistusele olid teistest täpsemad ilmaportaali Weather Underground ja Yr. Kuupäevade vaheline varieeruvus oli 0,85 °C ja mudeli viga 1,17 °C.

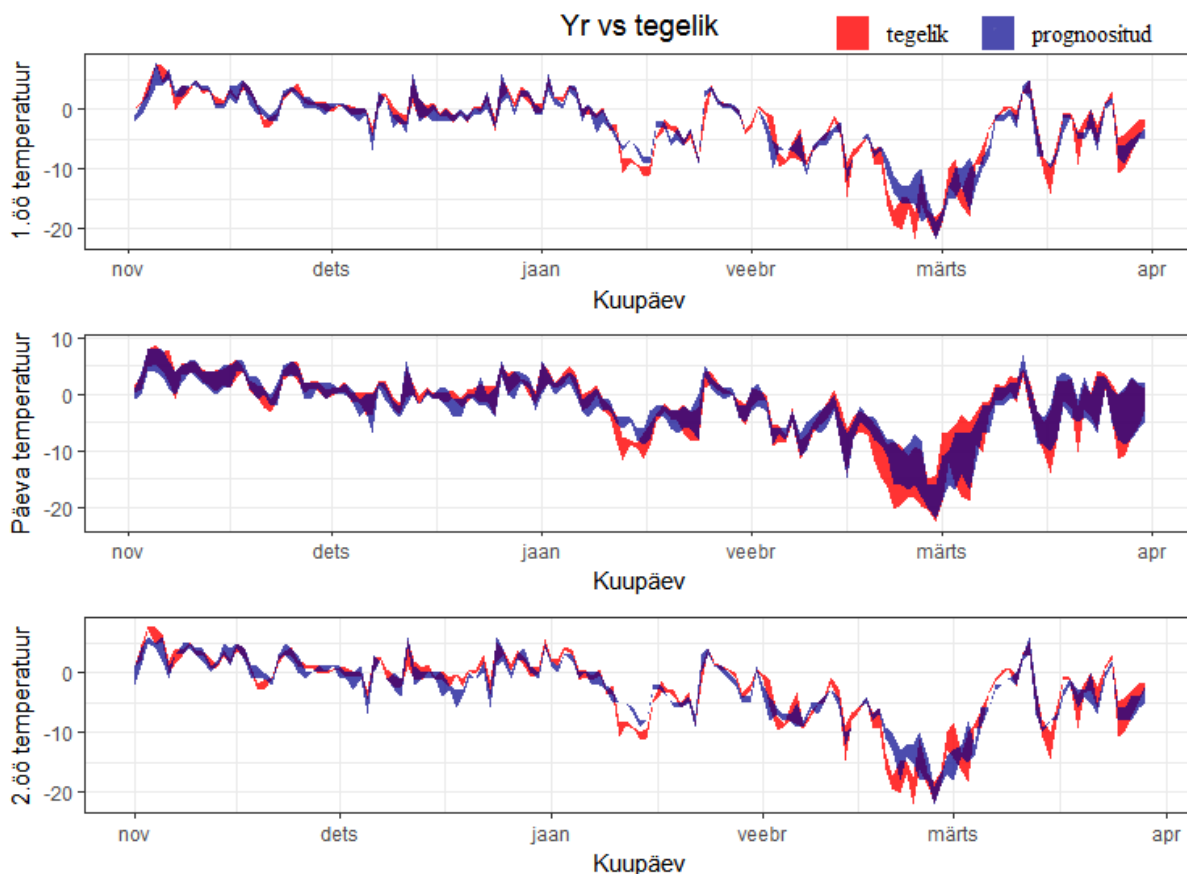
See, et The Weather Channeli parameetri väärtus teiste keskmistega võrreldes nii suur on, tuleneb ilmselt asjaolust, et iPhone'i ilmarakendus näitab ülejärgmise öö kohta vaid üht temperatuuri, seega minimaalseteks ja maksimaalseteks prognoosideks märgiti vaatluste tegemisel üles üks ja sama temperatuur. Kuna tabelis 9 olev parameetri väärtus The Weather Channeli jaoks on palju väiksem, siis võib arvata, et ilmarakenduses nähtav temperatuur teiseks ööks näitab minimaalset prognoositavat temperatuuri.

5.5 Järeldused

Saadud tulemustest võib järeldada, et ajavahemikus 1. november 2017 kuni 30. märts 2018 prognoosis Tartu ilma kõige täpsemalt järgneva öö ja päeva kohta Norra ilmaportaali Yr ning ülejärgneva öö kohta Eesti ametlik ilmateenistus Riigi Ilmateenistus. Lisaks välja toodud kahele ilmaportaali prognoosis nii järgneva ööpäeva kui ka ülejärgmise öö ilma üllatavalt täpselt Ameerika Ühendriikide ilmaportaali Weather Underground.

Kõige vähem usaldusväärseteks võib pidada ilmaportaale Metcheck, ilm.ee ja AccuWeatherit. Kui muidu peetakse Vene ilmaportaali Gisemeteot usaldusväärseks ilmaennustajaks, siis ebatäpsus antud mudelis, kus vaadeldakse miinimum- ja maksimumtemperatuure eraldi, võib tuleneda sellest, et ilmaportaalist on prognoose võimalik vaadata iga kolme tunni tagant, seega mõned minimaalsed või maksimaalsed temperatuurid võisid jääda üles märkimata.

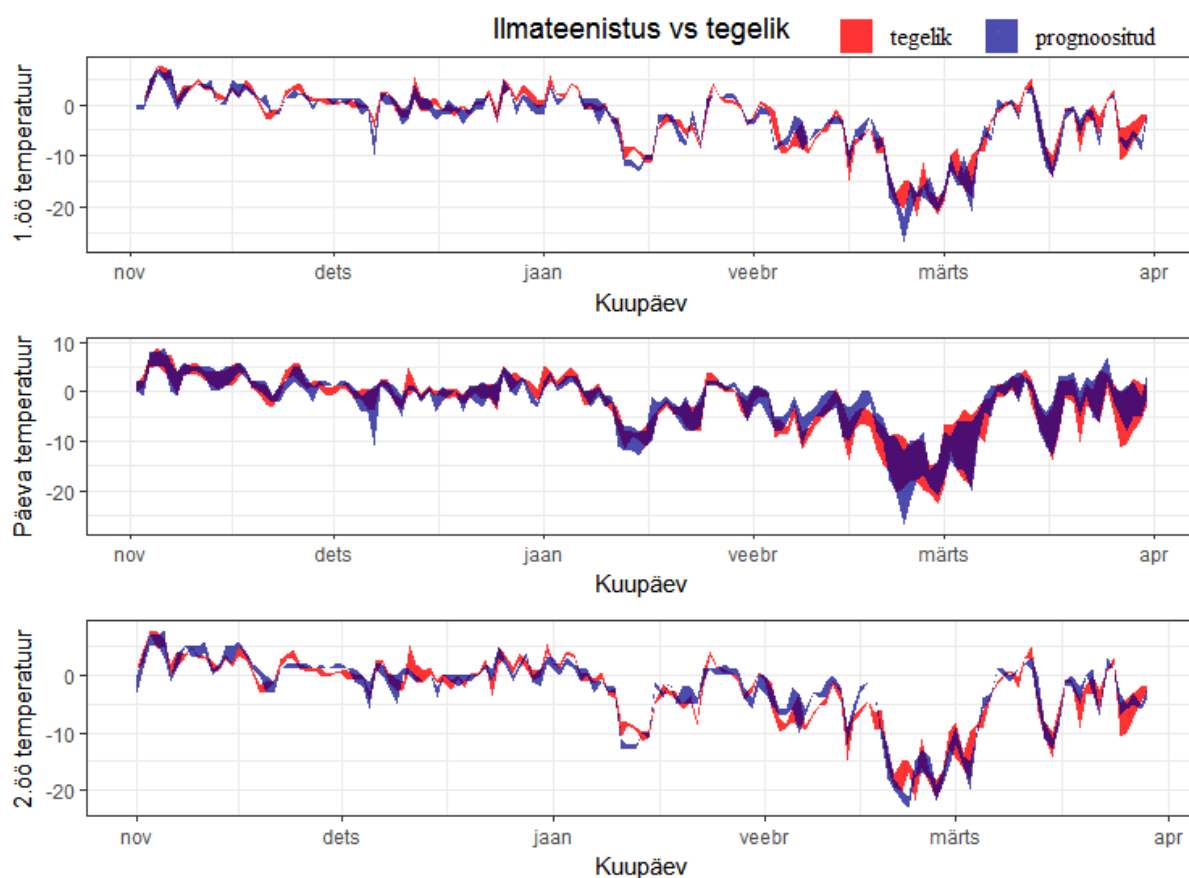
Järgneval joonisel 1 on kujutatud kõik ilmaportaali Yr prognoosid ning tegelikud vaatlusandmed Riigi Ilmateenistusest ajavahemikus 2. november kuni 1. aprill. Eraldi on kujutatud järgneva öö, järgneva päeva ning ülejäämise öö prognoose ning tegelikke andmeid. Joonisel olev värvitud ala moodustub iga vaadeldud päeva maksimaalse ja minimaalse temperatuuri vahemikust. Punasega on kujutatud tegelikud mõõdetud temperatuurid ning sinisega prognoositud temperatuurid. Usaldusväärse ning täpse ilmaportaali korral peaksid punase ja sinisega kujutatud alad kattuma.



Joonis 1. Yr ilmaprognoos vs tegelikud ilmaandmed Tartus.

Ilmaportaali Yr korral võib joonisel 1 tähele panna, et enamjaolt prognooside ja tegelike temperatuuride vahemikud kattuvad. Samas on näha, kuidas teatud ajahetkedel on prognoosid ennustatud tegelikest temperatuuridest kõrgemaks ja teatud hetkedel madalamaks. Keskmiselt tasakaalustavad need üle- ja alahinnangud üksteist ära ning ilmaportaali Yr võib pidada usaldusväärseks.

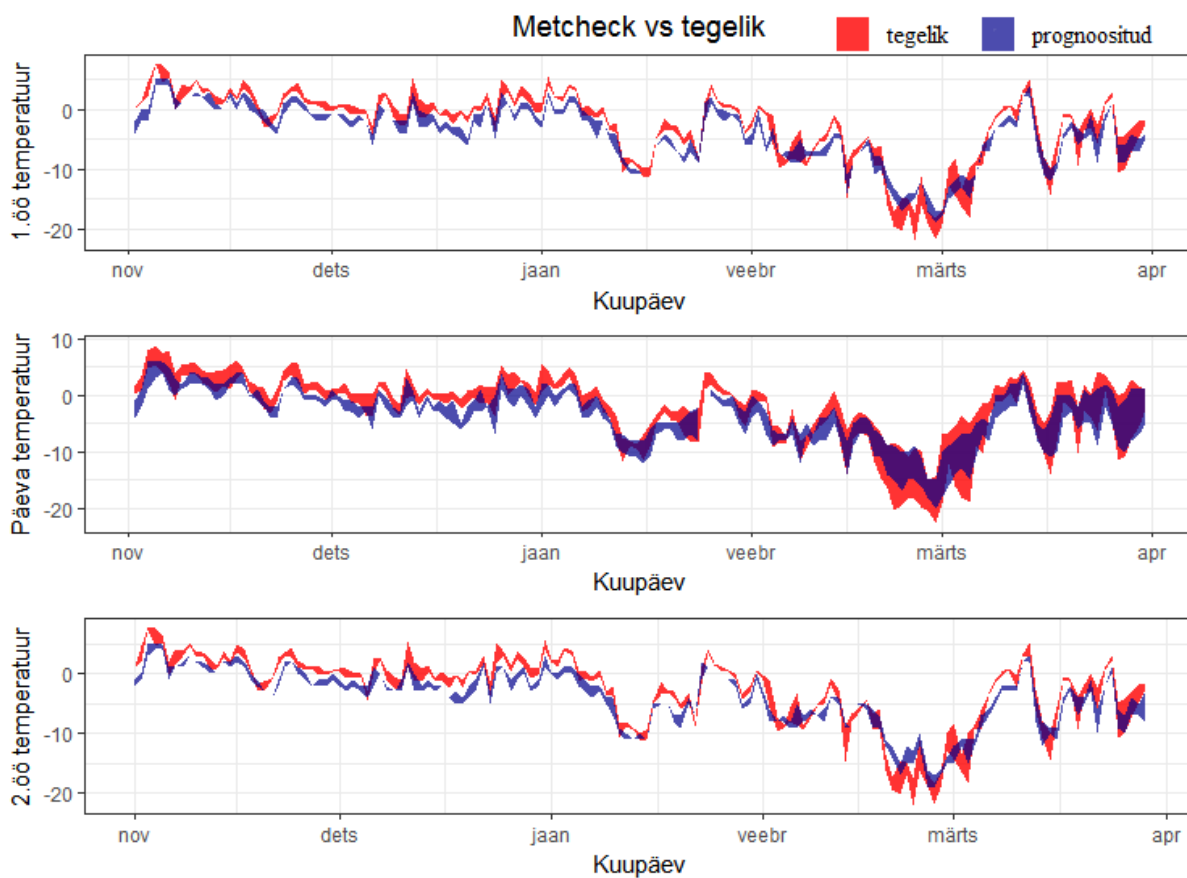
Riigi Ilmateenistuse prognoositud andmed ning samast portaalist saadud vaatlusandmed tegelikest mõõdetud temperatuuridest on kujutatud joonisel 2.



Joonis 2. Riigi Ilmateenistuse ilmaprognoos vs tegelikud ilmaandmed Tartus.

Ka Riigi Ilmateenistuse andmete korral võib tähele panna, et prognoositud temperatuurid on tegelikest nii kõrgemad kui ka madalamad, mistõttu keskmiselt on temperatuuride erinevused üsna nullilähedased.

Järgmisel joonisel 3 on kujutatud tegelikke andmeid ja ilmaportaali Metcheck prognoose. Tehtud analüüside põhjal ei peeta Metchecki prognoose eriti täpseteks.



Joonis 3 Metchecki ilmaprognoosid vs tegelikud ilmaandmed Tartus.

Nagu joonisel 3 on näha, siis Metchecki prognoositud temperatuurid on enamjaolt mõnevõrra madalamad kui tegelikud temperatuurid, mistõttu prognoositud temperatuuride kokkulangevus tegelike temperatuuridega on üsna väike.

Lisas 4 on võimalik vaadata ka teiste ilmaportaali prognoositud temperatuuride võrdlusi tegelike andmetega Tartus.

Kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli leida vaadeldud kaheksa ilmaportaali seast usaldusväärseim ja täpseim ilmaprognoosija. Viie kuu jooksul, novembri algusest märtsi lõpuni, kogutud andmete ning tegelike mõõdetud temperatuuride abil leiti, et Tartu järgneva ööpäeva temperatuure ennustas kõige täpsemini Norra ilmaportaal Yr ning ülejärgneva öö temperatuure Eesti ametlik ilmateenistus Riigi Ilmateenistus. Tehtud analüüsi käigus leiti, et järgneva ööpäeva temperatuure Viljandis ennustas kõige täpsemalt Riigi Ilmateenistus ning ülejärgmise öö temperatuure ilmaportaal Weather Underground. Järgneva ööpäeva sademete esinemist Tartus ennustas kõige täpsemalt Vene ilmaportaal Gismeteo ja Viljandis Metcheck.

Töö tulemusena ei suudetud küll leida üht parimat ilmaportaali, mille kõik prognoosid oleksid täpseimad, kuid teistest usaldusväärsemateks võib pidada temperatuuride prognoosimises ilmaportaale Riigi Ilmateenistus, Yr ja Weather Underground ning sademete esinemise või mitte esinemise ennustamises Gismeteot ja Metchecki.

Läbiviidud uuringu põhjal leiti küll ilmaportalid, mis ennustasid lühiajalist ilmaprognoosi teistest täpsemini, kuid ei saa välistada, et teise asukoha ning ajaperioodi korral tulemused erinevad oleksid. Kindlasti ei tohiks tulemusi üldistada kogu aasta ning kõikide asukohtade peale, selleks tuleks viia läbi pikaajalisem ning laiahaardelisem uuring.

Kasutatud allikad

- [1] Riigi Ilmateenistus. <http://www.ilmateenistus.ee/>. (1.04.2018).
- [2] Ilm.ee. <https://ilm.ee/>. (30.03.2018).
- [3] Weather Underground. <https://www.wunderground.com/>. (30.03.2018).
- [4] Yr. <https://yrkundesenter.zendesk.com/hc/en-us>. (23.03.2018).
- [5] Yr - Weather forecasts for Norway and the world. <https://www.yr.no/>. (30.03.2018).
- [6] AccuWeather. <https://www.accuweather.com>. (30.03.2018).
- [7] Metcheck. <http://www.metcheck.com/>. (30.03.2018).
- [8] Gismeteo. <https://www.gismeteo.com/>. (30.03.2018).
- [9] The iPhone FAQ. <https://www.iphonefaq.org/archives/975978>. (23.03.2018).
- [10] The Weather Channel. <https://weather.com/>. (30.03.2018).
- [11] Pinheiro, J., Bates, D. (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-Plus*. New York: Springer-Verlag.
- [12] Galecki, A., Burzykowski, T. (2013). *Linear Mixed-Effects Models Using R A Step-by-Step Approach*. New York: Springer.
- [13] Käärik, E. (2013). *Andmeanalüüs II (MTMS.01.007)* Loengukonspekt.
<http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/35401/AndmeanaluusII.pdf>.
- [14] Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., R Core Team. (2018). *Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. Pakett: nlme.
<https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.

Lisad

Lisa 1

Kuna andmestikud on suured, siis on kogu andmestiku asemel esitatud lõige tabelist. Tabelis 11 on miinimumtemperatuuride andmestiku viimased 8 kirjet ja tabelis 16 sademete andmestiku viimased 4 kirjet. Andmestikud on järgmisel kujul:

Tabel 11. Järgmise ööpäeva miinimumtemperatuuride andmestik

kuupäev	aeg	temp	ilmajaam	tegelik	vahe
2018-03-31	nmin	−4	ilm.ee	−2,3	1,7
2018-03-31	dmin	−3	ilm.ee	−2,4	0,6
2018-03-31	nmin	−5	metcheck	−2,3	2,7
2018-03-31	dmin	−5	metcheck	−2,4	2,6
2018-03-31	nmin	−3	wu	−2,3	0,7
2018-03-31	dmin	−3	wu	−2,4	0,6
2018-03-31	nmin	−5	yr	−2,3	2,7
2018-03-31	dmin	−5	yr	−2,4	2,6

Tabel 12. Sademete andmestik

kuupäev	tegelik	emhi	ilm.ee	wu	yr	accu	metcheck	gismeteo	iphone
2018-03-28	0	0	0	0	0	1	1	0	0
2018-03-29	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2018-03-30	1	1	0	0	1	0	1	1	0
2018-03-31	1	0	0	0	0	1	0	1	0

Tunnus *aeg* tabelis 11 näitab, kas tegemist on öö- või päevaajaga ühes kuupäevas. Tunnuse väärtused *dmin* ja *nmin* tähendavad, et andmereal on tegemist vastavalt päeva või öö minimaalse temperatuuriga. Tunnuse *temp* väärtused on ilmaportalide prognoosid, tegelikud temperatuuride väärtused on veerus *tegelik* ning tunnuses *vahe* on tegelike ja prognoositud temperatuuride vahed. Andmestik maksimumtemperatuuride jaoks on tabeliga 11 analoogsel kujul.

Sademete andmestikus tabelis 12 tähistab 0, et sademeid ei esinenud ning 1 sademete esinemist.

Lisa 2

Analüüsiks kasutatud R'i mudeli näidis:

```
lme(vahe~ilmajaam - 1, data = tabel, min, random = ~1|kp/aeg, na.action = na.omit),
```

kus *ilmajaam* näitab, millise ilmaportaali on tegu, *kp* näitab kuupäeva ning *aeg* näitab, kas tegu on öö või päevaga. Uuritavaks tunnuseks on *vahe* ehk tegelike ning prognoositud temperatuuride erinevus,

Kasutatud funktsioon *lme* on rakendustarkvara R'i paketist *nlme*. [14]

Lisa 3

Kuna lisaks Tartule koguti töös vaadeldud perioodil andmeid ka Viljandi kohta, siis viidi Viljandi ilmaandmetega läbi sama analüüs. Tulemused järgneva öö ja päeva, ülejäärmise öö ja sademete esinemise täpsuse kohta on kirjas allolevates tabelites.

Tabel 13. Järgneva öö ja päeva minimaalsed ja maksimaalsed temperatuurid Viljandis

Ilmaportaal	min		max	
	väärtus	p-väärtus	väärtus	p-väärtus
Riigi Ilmateenistus	-0,0063	0,9621	0,0200	0,8216
ilm.ee	-1,4397	< 0,0001	0,3433	0,0001
Weather Underground	-0,3597	0,0071	0,1600	0,0713
Yr	-0,0030	0,9821	0,1400	0,1145
AccuWeather	0,2635	0,0486	0,2133	0,0162
Metcheck	0,6542	< 0,0001	1,3302	< 0,0001
Gismeteo	-0,0111	0,9347	0,4710	< 0,0001
The Weather Channel	-0,5148	0,0002	0,0666	0,4622

Tabeli 13 põhjal saab öelda, et Viljandi järgneva öö ja päeva temperatuure ennustas kõige täpsemini Riigi Ilmateenistus, kus minimaalsete temperatuuride korral oli parameetri väärtus mudelis -0,0063 ja maksimaalsete temperatuuride korral 0,02. See tähendab, et kui arvestada vaid ilmaportaali mõju, siis keskmiselt olid miinimumtemperatuuride korral tegelikud temperatuurid prognoosidest 0,0063 °C võrra madalamad ning maksimumtemperatuuride korral 0,02 °C võrra kõrgemad. Lisaks Riigi Ilmateenistusele ei saa tegelike ja prognoositud minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride erinevusi nullist erinevaks lugeda ka ilmaportaali Yr ja Weather Undergroundi korral.

Järgnevas tabelis 14 on ülevaade ülejärgmise öö temperatuuride erinevuse kohta Viljandis.

Tabel 14. Ülejärgmise öö minimaalsed ja maksimaalsed temperatuurid Viljandis

Ilmaportaal	min		max	
	väärtus	p-väärtus	väärtus	p-väärtus
Riigi Ilmateenistus	−0,3220	0,0487	−0,1507	0,2705
ilm.ee	−0,5487	0,0008	0,6760	< 0,0001
Weather Underground	−0,1953	0,2316	0,2293	0,0937
Yr	0,2380	0,1450	0,3560	0,0093
AccuWeather	0,4247	0,0094	0,6627	< 0,0001
Metcheck	0,8113	< 0,0001	1,2427	< 0,0001
Gismeteo	0,3955	0,0179	0,6377	< 0,0001
The Weather Channel	0,6602	0,0001	1,2427	< 0,0001

Ülejärgmise öö miinimumtemperatuure prognoosis kõige täpsemalt Weather Underground, mis ennustas minimaalsed temperatuurid keskmiselt 0,1953 °C kõrgemaks kui tegelikud mõõdetud minimaalsed temperatuurid. Maksimumtemperatuure prognoosis ülejärgmise öö kohta kõige täpsemalt Riigi Ilmateenistus. Kui arvesse võtta vaid ilmaportaali mõju, siis Riigi Ilmateenistuse prognoosid olid keskmiselt 0,1507 °C kõrgemad tegelikest temperatuuridest.

Allolevas tabelis 15 on tulemused järgmiseks päevaks prognoositud sademete esinemise kohta.

Tabel 15. Sademete ennustuse täpsus Viljandis

ilmaportaal	õigesti ennustatud päevade arv	eksitud päevade arv	puuduvate andmete arv	täpsus
Riigi Ilmateenistus	113	37	-	0,753
ilm.ee	111	39	-	0,74
Weather Underground	119	31	-	0,793
Yr	117	33	-	0,78
AccuWeather	117	33	-	0,78
Metcheck	122	28	-	0,813
Gismeteo	97	39	14	0,713
The Weather Channel	106	30	14	0,779

Kõige täpsemalt ennustas sademete esinemist või mitte esinemist järgmisel päeval ilmaportaali Metcheck, mille täpsus oli 0,813. Viljandis esines Riigi Ilmateenistuse vaatlusandmete põhjal vaadeldud viie kuu jooksul sademeid 87 päeval ehk 58% päevadest.

Tabel 16. Ennustuste täpsused sademetega ja sademeteta päevade kohta Viljandis

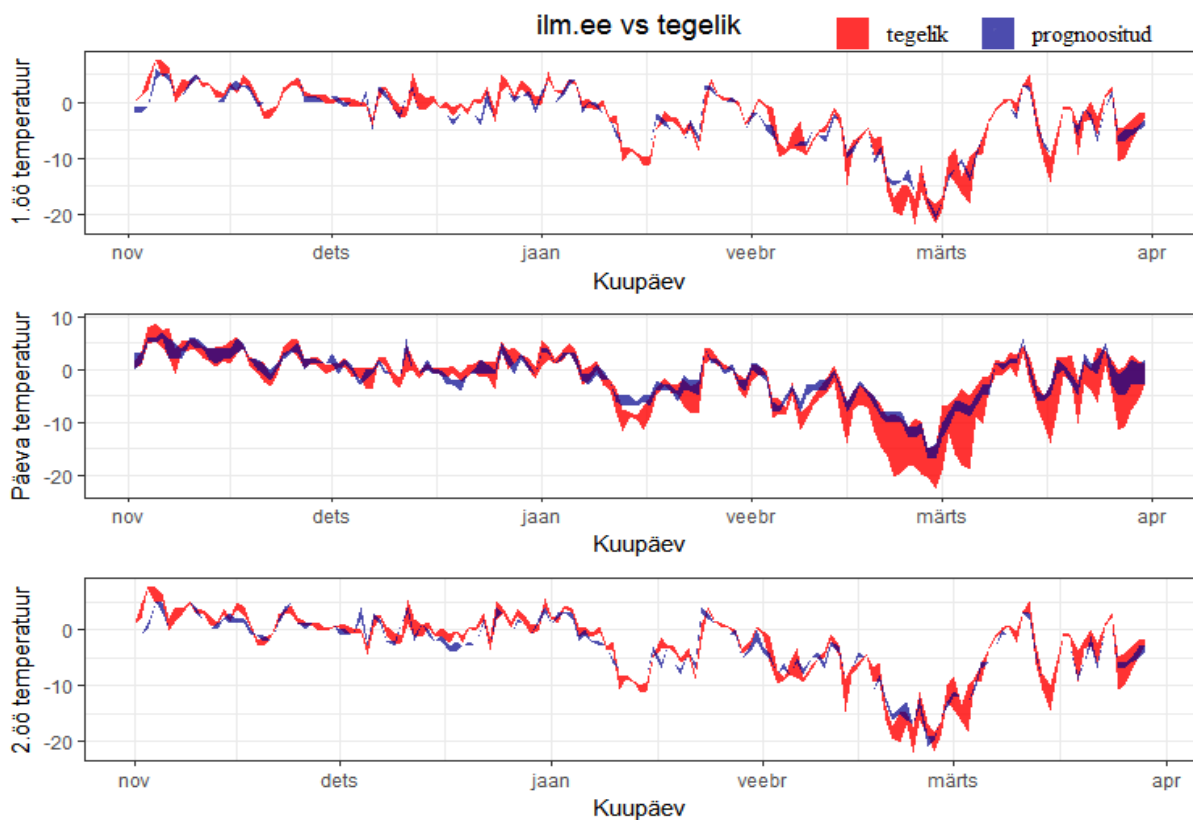
ilmaportaali	õigesti ennustatud sademeteta päevade arv	täpsus	õigesti ennustatud sademetega päevade arv	täpsus
Riigi Ilmateenistus	45	0,714	68	0,782
ilm.ee	39	0,619	72	0,828
Weather Underground	54	0,857	65	0,747
Yr	56	0,889	61	0,701
AccuWeather	45	0,714	72	0,828
Metcheck	42	0,667	80	0,920
Gismeteo	27 (puuduvaid väärtusi 1)	0,435	70 (puuduvaid väärtusi 13)	0,946
The Weather Channel	55 (puuduvaid väärtusi 1)	0,887	51 (puuduvaid väärtusi 13)	0,689

Kõige täpsemalt prognoosisid järgmiseks päevaks sademete mitte esinemist Norra ilmaportaali Yr täpsusega 88,9% ja The Weather Channel täpsusega 88,7%. Nagu tabelis 16 on näha, siis vihma- või lumesajupäevade ennustus oli kõige täpsem Gismeteol, mis ennustas õigesti sademeid 70 päeval 74 päevast, mil vaatlusandmete järgi sadas.

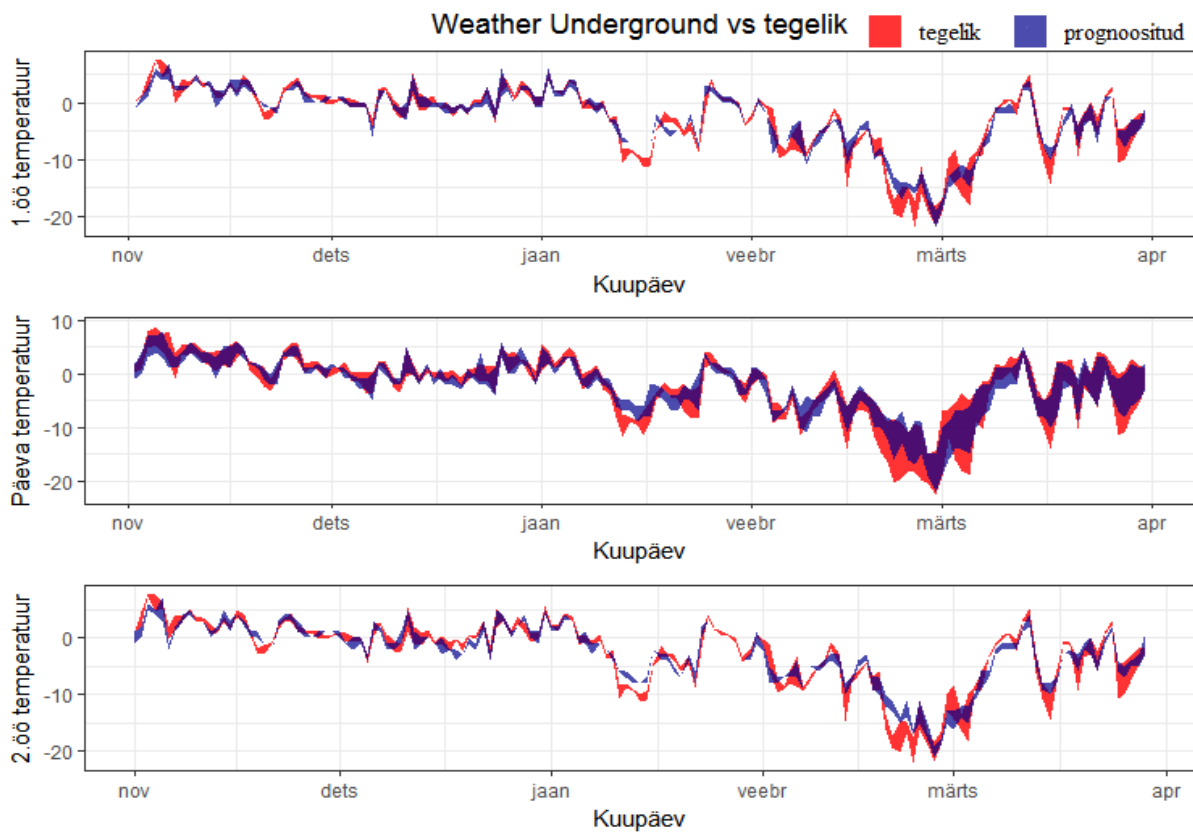
Saadud tulemustest võib järeldada, et Viljandi temperatuure ennustasid kõige täpsemini Riigi Ilmateenistus, Weather Underground ja Yr ning sademete esinemist Metcheck.

Lisa 4

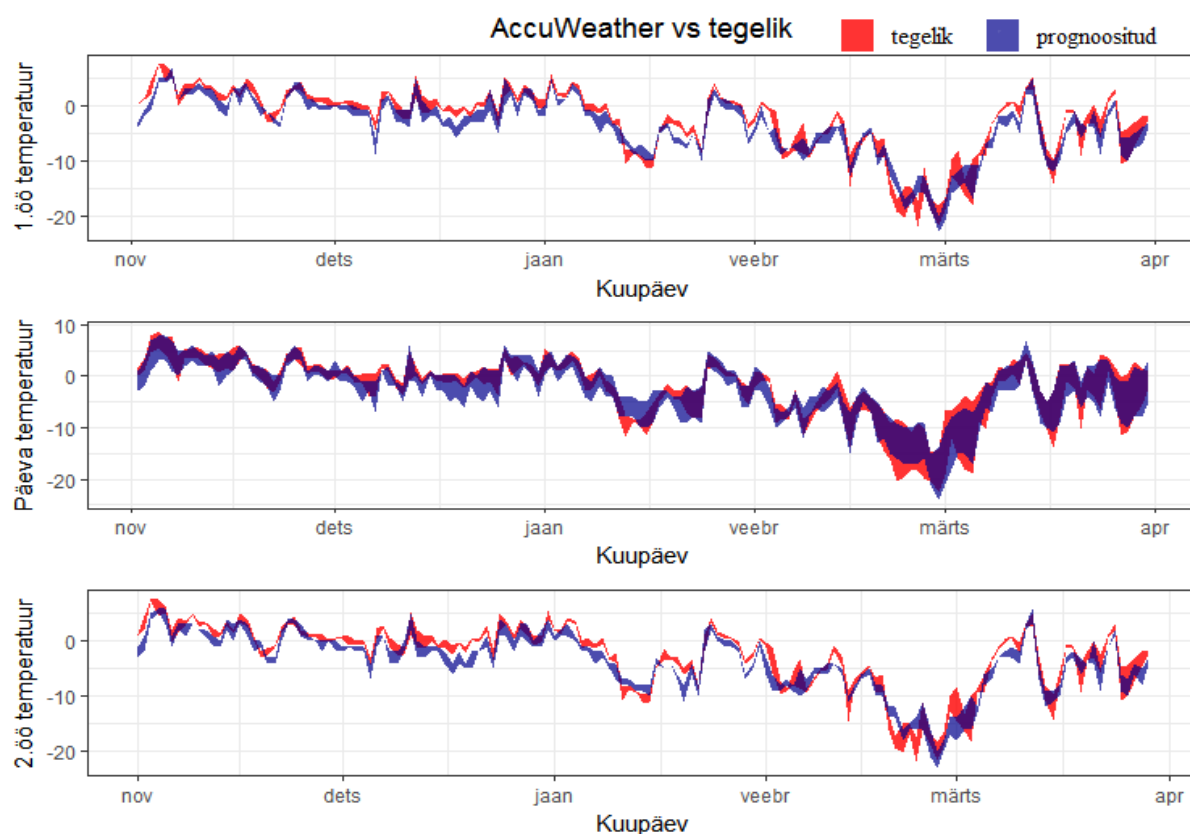
Järgnevalt on välja toodud joonised ilmaportalide ilm.ee, Weather Undergroundi, AccuWeatheri, Gismeteo ja The Weather Channeli prognoositud temperatuuride ja tegelike mõõdetud temperatuuride kohta Tartus.



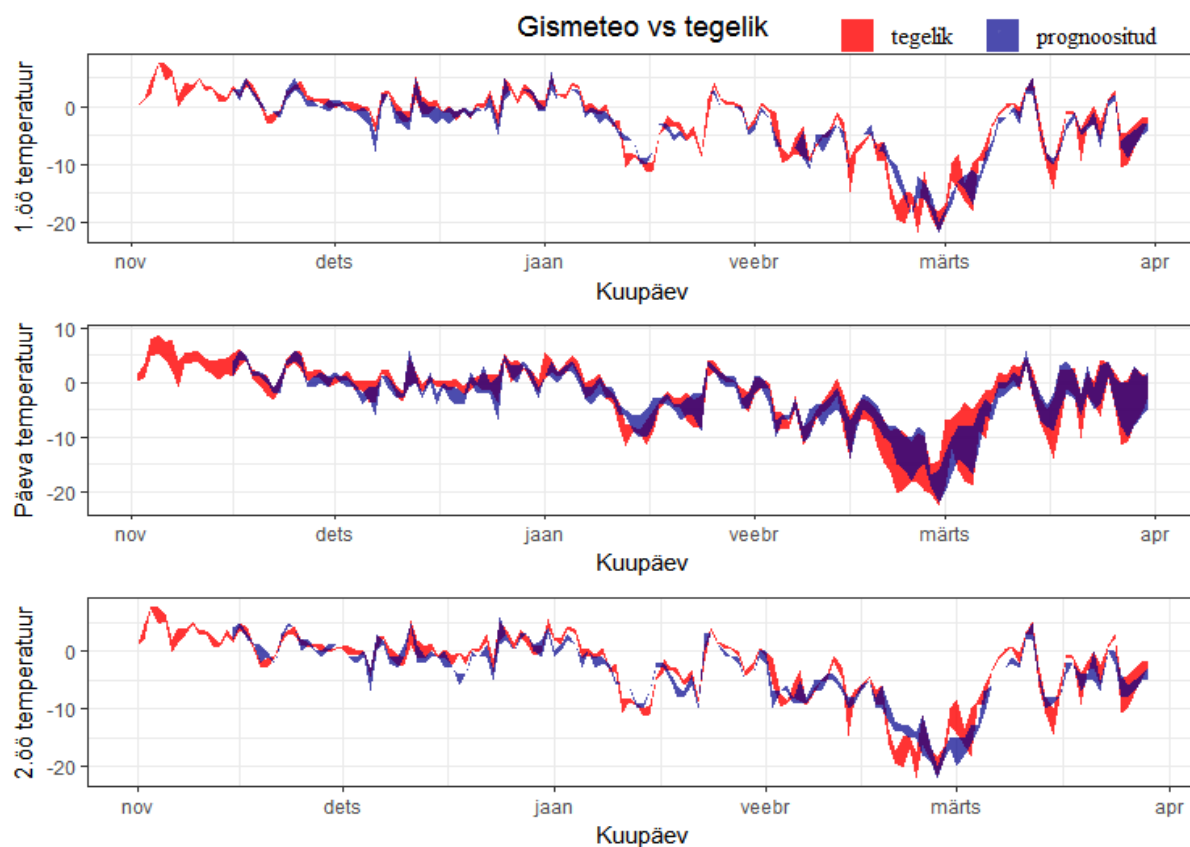
Joonis 4. Ilm.ee ilmaprognoos vs tegelikud ilmaandmed Tartus.



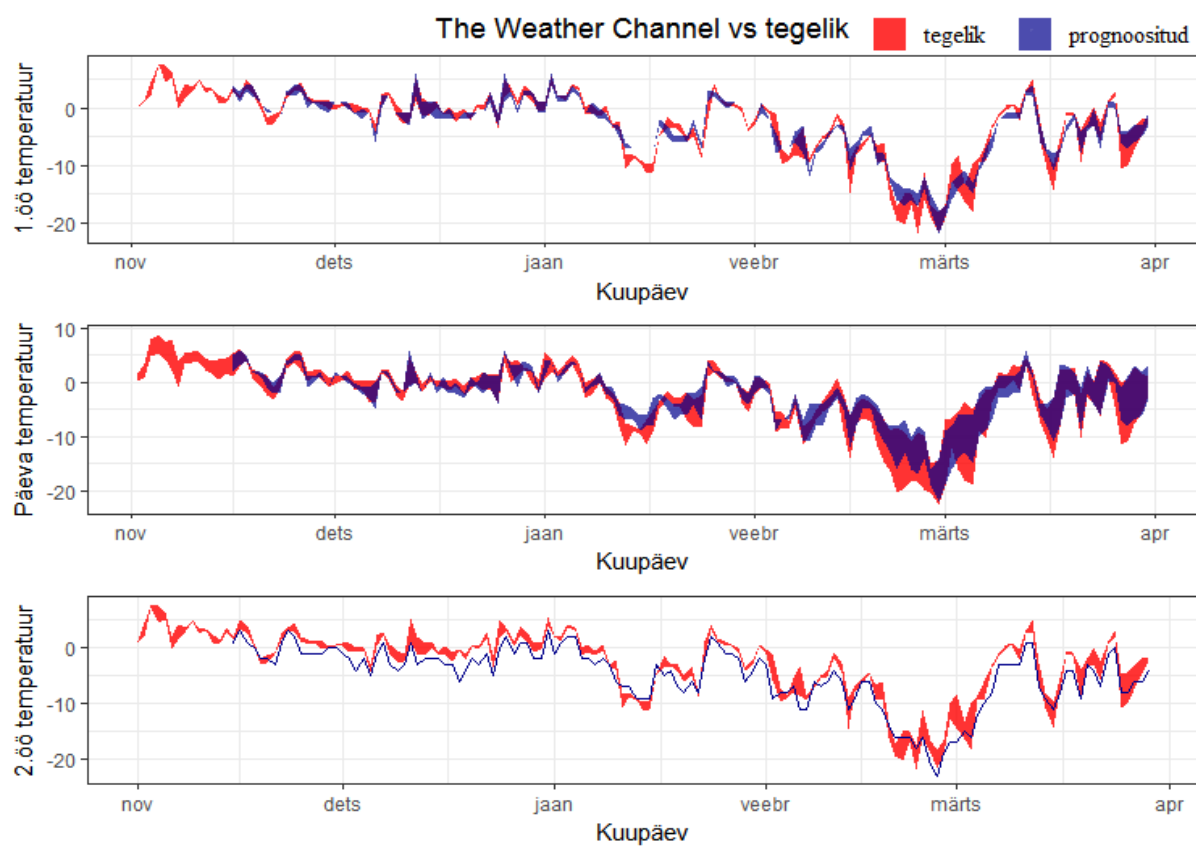
Joonis 5. Weather Undergroundi ilmaprognoos vs tegelikud ilmaandmed Tartus.



Joonis 6. AccuWeatheri ilmaprognoos vs tegelikud ilmaandmed Tartus.



Joonis 7. Gismeteo ilmaprognoos vs tegelikud ilmaandmed Tartus.



Joonis 8. The Weather Channeli ilmaprognoos vs tegelikud ilmaandmed Tartus.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Annika Ilves,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Ilmaprognoos ja tegelik ilm Tartu näitel“,

mille juhendaja on Anne Selart,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **08.05.2018**